



Capitão-Tenente (EN) Daniel Gustavo Pontes Silva

Ajudante da 3ª Seção de Projetos da DOCM.

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Especializado em Eletrônica para Oficiais pelo Centro de Instrução Almirante Wandenkolk (CIAW) e Mestre em Ciências de Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE - UFRJ).

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS PARA ESTAÇÕES ESTRATÉGICAS E ISOLADAS DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DA MARINHA DO BRASIL

ESTUDO DE CASO: FAROL DE CABO FRIO

1. INTRODUÇÃO

Nas esferas política, econômica e ecológica que caracterizam os dias de hoje, uma pressão crescente vem sendo exercida para gerenciar e controlar as atividades econômicas praticadas nos espaços marítimos adjacentes ao litoral brasileiro, tendo a Marinha do Brasil (MB) a função executora desta fiscalização. O envolvimento de toda a sociedade, a partir do conhecimento da função estratégica da MB e a disseminação deste conhecimento para as gerações futuras na defesa dos interesses da nação na *Amazônia Azul*, é fundamental para que o país consiga, de fato, defender e usufruir de forma racional e sustentável o imenso mar que nos pertence.

Seguindo esta ótica, a MB tem sob sua jurisdição administrativa ilhas estratégicas nas quais são desempenhadas atividades de ensino, treinamento, sinalização náutica, armazenamento de explosivos, dentre outras funções que contribuem para a defesa e o uso racional da *Amazônia Azul*. Em relação à

atividade de sinalização náutica nacional, dos 206 faróis usados como pontos notáveis visuais pelos navegantes (Dantas, 2000), alguns estão localizados em ilhas isoladas de qualquer fonte de energia do continente, cumprindo papel estratégico ao país para a defesa da *Amazônia Azul*, além de desempenhar, em muitos casos, papel secundário de pesquisa, ocupação e manutenção de monumentos históricos.

Para o pleno cumprimento das funções relacionadas a cada ilha sob administração da MB, todos os serviços de infraestrutura, tais como fornecimento de energia, água, esgoto e comunicações, devem ter alta confiabilidade e disponibilidade. A segurança energética dos sistemas de geração de energia presentes nestes sítios é um aspecto fundamental neste contexto, principalmente quando nos referimos a ilhas isoladas e oceânicas, sem possibilidade de conexão elétrica com o continente.

Como exemplo de sucesso, as Forças Armadas norte-americanas vêm envidando esforços para aumentar a confiabilidade e a disponibilidade energética para não somente suas instalações terrestres, como também para os meios navais, aeronavais e de fuzileiros navais, a partir do uso de Fontes Alternativas de Energia (FAE). Em 2010, a *US Navy* tornou público o documento *Energy Program for Security and Independence*, que resume os objetivos e as iniciativas para redução do consumo geral de energia, diminuindo a dependência do petróleo e aumentando significativamente o uso de energias alternativas. Identificam-se duas prioridades no programa americano que são pontos focais deste artigo:

- Segurança energética: através da utilização de fontes sustentáveis que atendam às forças navais nas diversas operações, com capacidade de proteger e fornecer energia suficiente para suprir as necessidades operacionais; e

- Independência energética: quando as forças navais contam somente com os recursos energéticos que não estão sujeitos a interrupções de fornecimento intencionais ou acidentais, tornando-as autossuficientes e menos dependentes da cadeia produtiva petrolífera com abastecimentos vulneráveis.

Segundo o documento, as metas que orientam a Marinha e o Corpo de Fuzileiros Navais Norte-Americanos para alcançar uma elevada segurança energética e sua independência dos combustíveis fósseis envolvem: investimentos em conservação de energia e eficiência energética em instalações terrestres e marítimas; criação da “Grande Esquadra Verde” (“*Great Green Fleet*”) que navegará até 2016 com uso de combustível nuclear em navios de guerra, biocombustíveis para aeronaves (Figura 1), além de navios híbridos com propulsão elétrica; redução de 50% do uso de combustíveis fósseis em veículos, aeronaves e embarcações de apoio até 2015; e geração de 50% da energia elétrica consumida em instalações terrestres por fontes alternativas até 2020 (Figura 2).



Figura 1 – Motor F404 de caça F/A-18 em funcionamento com biocombustíveis no centro de testes em Patuxent River, Maryland (Fonte: *US Navy*, 2010).



Figura 2 – Sistema de geração solar fotovoltaico instalado na Base Naval de San Diego, Califórnia (Fonte: *US Navy*, 2010).

Seguindo a linha de raciocínio proposta, voltada para a segurança e a independência energéticas e redução da pegada de carbono, o objetivo deste artigo é apresentar o levantamento de potencial de geração de energia por fontes renováveis para uma estação de sinalização náutica situada em território isolado do Sistema Interligado Nacional (SIN) e garantida vinte e quatro horas por militares. O farol escolhido foi o de Cabo Frio (PONTES SILVA, 2014), tomando-se como base metodológica a análise dos recursos ambientais disponíveis na ilha em três vetores energéticos: solar, eólico e ondas. Estes vetores são então comparados à demanda por energia existente no local, seguindo o roteiro traçado por BAĞCI (2008), devidamente adaptado ao sítio selecionado. Ao final serão propostos cenários para inclusão de sistemas híbridos de geração de energia, mantendo-se como *back-up* os geradores a diesel existentes.

2. LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO - ESTUDO DE CASO: FAROL DE CABO FRIO



Figura 3 - Farol de Cabo Frio.

2.1. DADOS BÁSICOS

Com área de 6,5 km² e perímetro de 16,22 km, a ilha que abriga o farol de Cabo Frio (Figura 3) é considerada área militar, com acesso ao local controlado. A Organização Militar (OM) responsável pelo controle de acesso é o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), localizado na Praia dos Anjos, em Arraial do Cabo, RJ. A ilha possuía uma estação de medição de ondas que permaneceu em funcionamento até 2009 e a batimetria média nas proximidades do extremo sul da ilha é de 50 m (Figura 4).

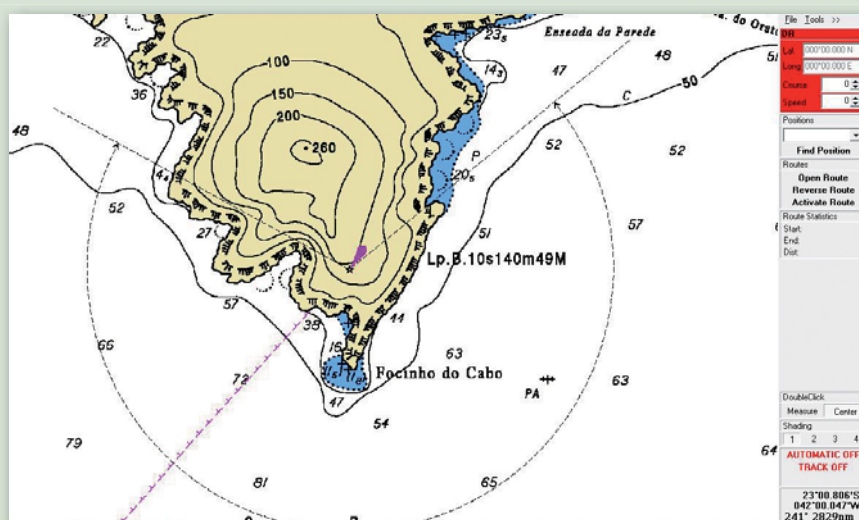


Figura 4 - Batimetria presente no extremo sul da Ilha de Cabo Frio.
(Fonte: Software SeaClear).

O acesso é realizado por embarcação, com uma distância a ser percorrida de aproximadamente 5 km. A distância de caminhada até o farol é de aproximadamente 1.700 m. O acesso ao local foi viabilizado a partir de um cais de concreto armado (Figura 5) para atracação de embarcações exclusivamente militares, por meio do qual provimentos e pessoal de serviço (posto de serviço diário na praia e residentes do farol) adentram diariamente a área militar. O heliponto é usado para recebimento de aeronaves do tipo “Esquilo” do HU-1, sediado em São Pedro da Aldeia, nas missões de apoio logístico para transporte do diesel, retirada dos geradores para manutenção em bancada e para emergências a acidentados ou enfermos.

A Ilha de Cabo Frio não possui fontes naturais de água potável, necessitando-se a aquisição e transporte de garrafas e galões do continente. Sistemas de captação de água de chuva foram instalados nos telhados das edificações para uso geral como águas servidas.



Figura 5 - Cais de acesso à Ilha de Cabo Frio.

Três grupos geradores de acionamento manual, fabricante motor diesel MWM série D-229/3 e gerador Gramaco 40/37 kVA, com funcionamento alternado em sistema de rodízio diário a cargo do operador, são responsáveis pela geração de energia elétrica para as residências e para o farol (Figura 6). O período de funcionamento da usina foi estipulado pela administração naval entre 18h e 8h da manhã do dia seguinte, restrição de caráter econômico para redução do consumo de óleo diesel. Porém tal restrição imputa em uma redução na qualidade de vida dos militares residentes e poderá ocasionar danos

nos eletrodomésticos ligados à rede devido aos distúrbios nos parâmetros de qualidade de energia relativos à reentrada dos geradores a diesel para geração de energia (TEIXEIRA *et al*, 2005).

Dados técnicos dos geradores, a partir de informações dos manuais, dos operadores e do Sistema de Informações Gerenciais de Abastecimento da Marinha do Brasil (SINGRA), estão descritos a seguir:

a) Consumo do gerador

- consumo: 4 l/h;
- regime de operação: 14h/dia (18h às 8h);
- consumo diário: 56 l/dia;
- consumo anual: 20.440 l/ano;
- Custo do combustível: R\$ 2,17/l; e
- Custo parcial relativo ao consumo do gerador: R\$ 44.354,80.



Figura 6 - Usina de geração do Farol de Cabo Frio.

A logística de transporte do óleo diesel para a ilha é realizada por aeronaves militares tipo “Esquilo” (Figura 7) com as seguintes características obtidas com militares da logística do Comando da Força Aeronaval (ComForAerNav) e a partir do Sistema de Informações Gerenciais de Abastecimento da Marinha do Brasil (SINGRA):

b) Consumo da aeronave

- Combustível: querosene de aviação;
- Custo do combustível: R\$ 5,96/l;
- Consumo do meio de transporte: 162 l/h;
- Horas de voo para abastecimento do farol por atendimento: 8h; e
- Total parcial por atendimento: R\$ 7.724,16.

c) Manutenção da aeronave

- Custo de manutenção estimado anual da aeronave: R\$ 1.380.000,00;
- Número de horas de voo por ano: 300 horas;
- Horas de voo para abastecimento do farol por atendimento: 8h;
- Número de atendimentos por ano: 6 vezes (bimestral); e
- Total parcial de manutenção por atendimento: R\$ 36.800,00.

d) Total final por atendimento: R\$ 44.524,16.

e) Custo final anual do apoio logístico: R\$ 267.144,96.

f) Custo final anual total: R\$ 311.499,76.

O óleo recebido é transferido por gravidade para o tanque primário (Figura 8). Tanques de serviço presentes na usina são abastecidos conforme a necessidade de uso.



Figura 7 - Aeronave "Esquilo" utilizada para apoio logístico ao Farol de Cabo Frio. (Fonte: SIQUEIRA, 2002).



Figura 8 - Tanque primário de recebimento e armazenamento do óleo diesel do Farol de Cabo Frio.

2.2. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

A carga instalada em cada edificação e a carga elétrica total estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Carga instalada no Farol de Cabo Frio.

Carga instalada total	
Local	Potência
	(W)
Usina de geração	580,00
Residência #1	7325,00
Residência #2	9946,72
Residência #3	8398,00
Residência #4 (térreo)	14470,60
Residência #4 (ss)	825,00
Iluminação externa	1800,00
Total	43345,32
TOTAL (kVA) FP = 0,92	47,11

O fator de potência utilizado foi o valor médio medido pelo analisador de demanda. Os eletrodomésticos utilizados são novos, muitos com selo de eficiência Classe "A" do PROCEL e bem conservados.

Os dados coletados com o analisador de energia nos dias 24 e 25 de abril de 2013, relativos ao consumo de energia acumulado e à curva de carga do Farol de Cabo Frio, estão resumidos nos Gráficos 1 e 2, respectivamente.

Analisando-se o Gráfico 2 e de acordo com o perfil de uso dos equipamentos elétricos pelos residentes, identifica-se:

- o funcionamento do farol, incluindo o motor de rotação e lâmpada, no intervalo entre 18h às 6h do dia seguinte; e

- o uso do chuveiro elétrico, equipamento de maior potência levantada, que registra, por exemplo, picos de potência por volta das 22h40 e também às 7h do dia seguinte.

A partir dos dados coletados e comparando-os com os dados medidos, constata-se que o dimensionamento dos geradores foi realizado considerando apenas a carga instalada total do complexo, resultando em um fator de carga (FC) de aproximadamente 5,96% (médio) e 16,92% (máximo), utilizando-se os valores de demanda registrados pelo analisador (Gráfico 2) e a carga instalada (Tabela 1). Conclui-se que o regime de funcionamento do gerador é inferior a 20% da potência nominal, faixa de alto consumo de combustível em relação à quantidade de energia gerada, assim com maior consumo específico de combustível (NEMA *et al*, 2008).

Tomando-se como base o Gráfico 2, os valores medidos de demanda média igual a 2,81 kVA e demanda máxima igual a 7,97 kVA serão utilizados para os cálculos do potencial de geração. Dessa forma, um potencial de geração por recursos energéticos alternativos de 8 kVA fornecerá a energia necessária para a ilha.

2.3. POTENCIAL CALCULADO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FAE

Os cálculos de potencial de geração de energia dos recursos solar, eólico e de ondas estão disponíveis em PONTES SILVA (2014), suprimidos do presente artigo, indicando-se ao final somente os valores vinculados a cada modal energético.

2.3.1. RECURSO SOLAR

A parte habitada do sítio encontra-se projetada geograficamente no eixo leste-oeste, obtendo-se uma cobertura solar que se estende por todo o

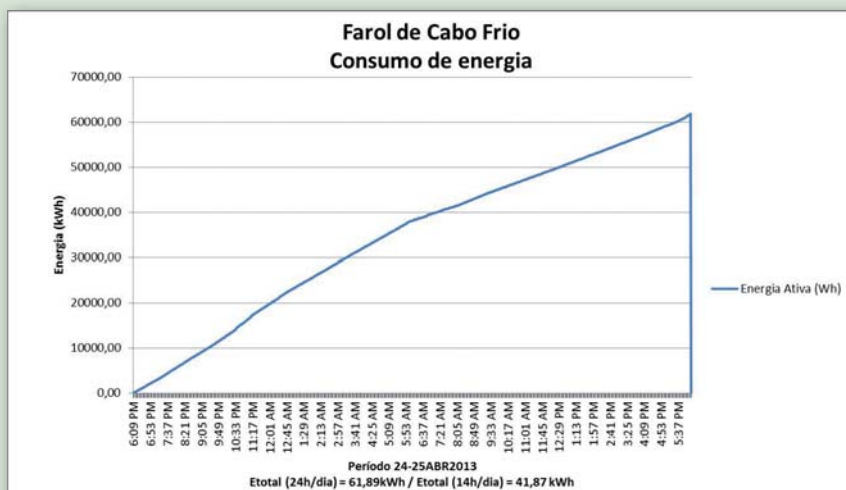


Gráfico 1 - Energia consumida diária no Farol de Cabo Frio.

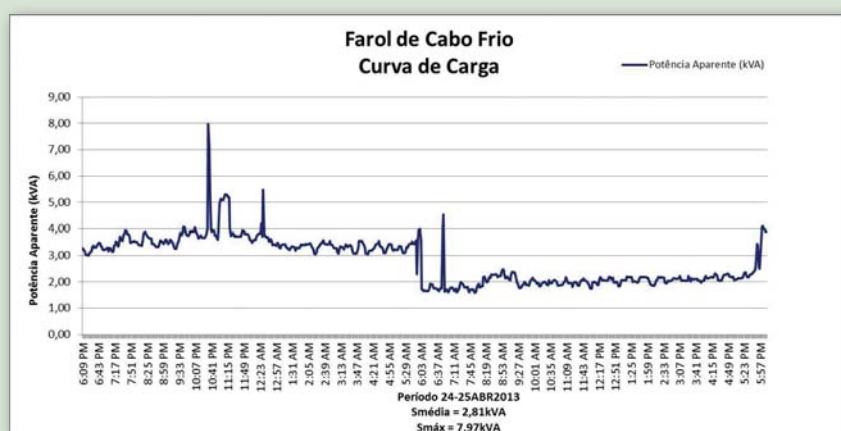


Gráfico 2 - Curva de carga diária do Farol de Cabo Frio.

terreno. Durante o dia, o paredão rochoso localizado ao norte do terreno forma uma área de sombra que cobre parte dos quintais das residências. Áreas descampadas próximas ao heliponto (4800 m²), todos os telhados das edificações (380 m²) e áreas livres adjacentes as edificações (120 m²) estão dispostas sem sombras e próprias para instalação de painéis fotovoltaicos (Figura 9).



Figura 9 - Áreas para instalação de módulos fotovoltaicos no Farol de Cabo Frio. (Fonte: Google Earth).

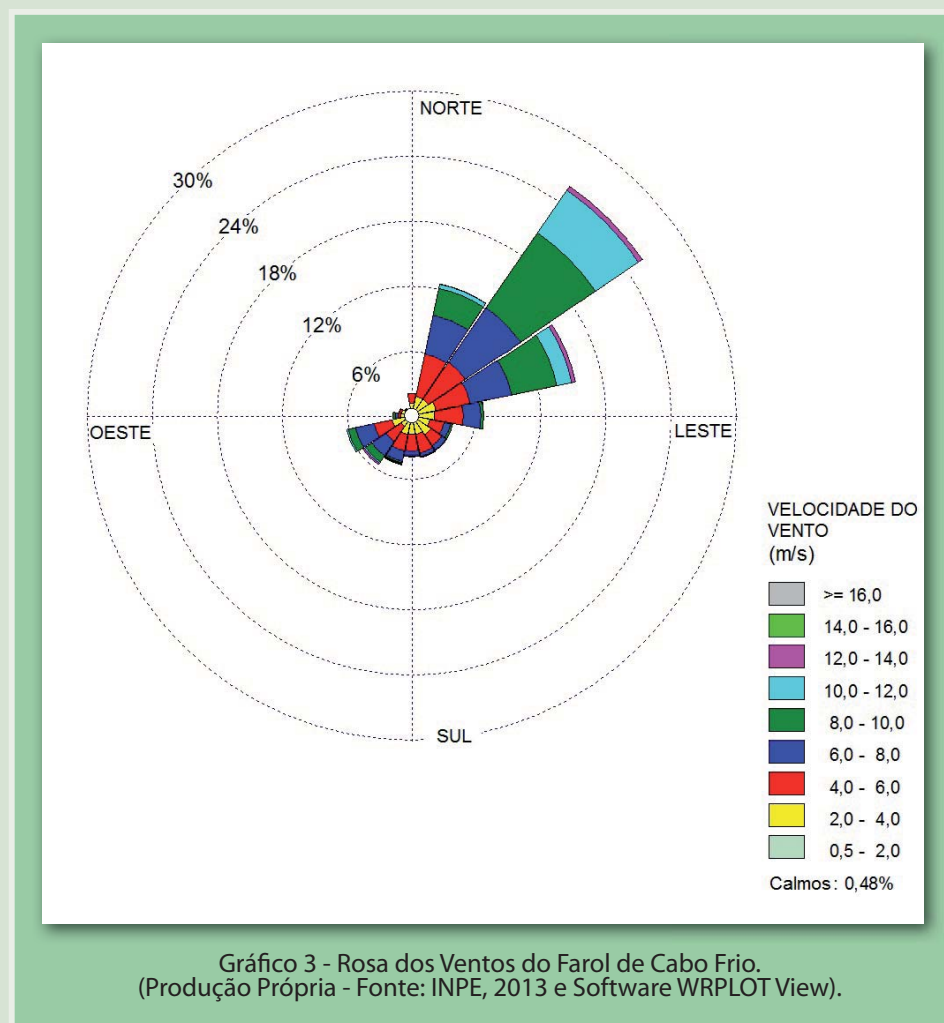
O potencial total calculado para geração de energia a partir do recurso solar fotovoltaico é de 67,35 kW, que é suficiente para abastecer mais de 8 (oito) vezes a demanda máxima por eletricidade e 24 (vinte e quatro) vezes a demanda média do sítio. Caso se considere somente as áreas existentes de telhados, o potencial é suficiente para abastecer a demanda máxima e mais de 3 (três) vezes a demanda média do sítio.

2.3.2. RECURSO EÓLICO

O aproveitamento eólico é pouco percebido entre as construções do farol, sendo que o melhor ponto para geração se encontra, no mínimo ao nível das lentes do farol. Este ponto é livre de sombras que reduzem o aproveitamento do recurso, no qual observa-se maiores intensidades ao entardecer e à noite. Os pontos escolhidos estão dispostos de forma segura com relação à área destinada a aproximação, ao pouso e a decolagem de aeronaves (Figura 10) e recebem os ventos predominantes na direção NE (nordeste) com o mínimo de barreiras físicas geográficas (Gráfico 3), respeitando-se ainda o espaçamento mínimo entre unidades adjacentes, proposto pelo fabricante do aerogerador.



Figura 10 - Localização proposta para os aerogeradores no Farol de Cabo Frio. (Fonte: Google Earth)



Somando-se as contribuições dos quatro aerogeradores propostos, o potencial de geração de energia eólica é de aproximadamente 6,56 KW, que é suficiente para atender mais que duas vezes a demanda média da ilha e 80% da demanda máxima.

2.3.3. RECURSO DE ONDAS

Todo o perímetro da Ilha de Cabo Frio é administrado pela MB, classificado como área militar. O extremo sul/sudeste da ilha comporta parte do mar sem obstáculos para incidência de ondas, chamado mar de fora.

Assim, as restrições para instalação de uma usina de ondas são estritamente locais, devido a formações rochosas do litoral da ilha que dificultam a passagem dos cabos elétricos para terra e a instalação do canteiro provisório para construção da usina.



Figura 11 – Proposta de localização de dispositivos de energia de ondas (*near-shore*) próximos ao Farol de Cabo Frio (Fonte: Google Earth).

O traçado proposto na Figura 11 com 3.500 m, para aplicações de tecnologias de energia de ondas *near-shore* (PONTES SILVA, 2014), equivale ao potencial total local de aproximadamente 42,89 MW. Conclui-se que a energia gerada em um metro de largura de onda é suficiente para abastecer a demanda máxima com excedente de 54% e a demanda média do sítio com excedente superior a 330%.

3. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES E DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 resume a área (recurso solar), número de aerogeradores (recurso eólico) e largura de frente de onda (recurso ondas) para atendimento das necessidades energéticas do sítio selecionado, seguindo a metodologia sugerida por BAĞCI (2008).

Tabela 2 – Equivalência dos recursos naturais para atendimento das necessidades energéticas do sítio.

Sítio	Demanda média	Demanda máxima	Atendimento das necessidades energéticas dos sítios		
			Recurso solar	Recurso eólico	Recurso ondas
			Área de módulos fotovoltaicos	Número de aerogeradores	Largura de frente de onda
	(kVA)	(kVA)	(m ²)	(un)	(m)
Cabo Frio	2,81	7,97	111 – 314	2 – 5	0,23 – 0,65

Fonte: BAĞCI, 2008.

Não obstante, a informação contida na Tabela 2 e os resultados obtidos por BAĞCI (2008) não consideram a coincidência entre a demanda por energia nos sítios e a geração instantânea por FAE para atendê-la, reduzindo-se a confiabilidade dos dados gerados nos estudos. Outra informação não discutida por BAĞCI (2008) refere-se à intermitência dos

recursos naturais, desconsiderando-se a necessidade de energia de reserva (*back-up*).

Para resolução das questões supracitadas sugere-se, como proposta de aplicação, a instalação de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico, com aproveitamento dos geradores existentes como *back-up* energético e sem necessidade de investimento em grandes sistemas de acumulação de energia por bancos de baterias, corroborado, no presente estudo, por seu alto custo de instalação e para substituição ao longo da vida útil dos sistemas híbridos propostos (YAMEGUEU *et al*, 2011 e PINHO *et al*, 2008).

Uma limitação a essa proposta refere-se à necessidade de baterias, desta vez não como sistemas de acumulação (*back-up*) de energia e sim por questões operacionais dos geradores a diesel existentes, fornecendo-se energia nos momentos de picos de demanda de curta duração, minimizando-se o uso do gerador. Quanto maior for o desafio de evitar o uso do grupo diesel, maior será o dimensionamento do banco de baterias, sendo que, na hipótese da retirada total, o dimensionamento do banco deverá ser suficiente para atender a qualquer situação de carga do sítio. A título de informação, os custos atuais do mercado de baterias variam entre R\$ 700⁽¹⁾ - 1.400/kWh⁽²⁾, faixa presente, respectivamente, entre a tecnologia chumbo-ácida e ion-lítio.

(1) - Obtido em <<http://www.sociedadedelosol.org.br/faqs/1018.htm>>;

(2) - Obtido em <http://autoviva.sapo.pt/news/custos_das_baterias_de_litio_deverao_cair_dois_ter/4996>;

Uma melhor compatibilização das curvas de oferta e demanda, a partir dos sistemas híbridos propostos acima, pode ser realizada com os dados obtidos por AROUCA (2013), referentes a módulos fotovoltaicos e microturbinas eólicas verticais⁽³⁾ e horizontais⁽⁴⁾, instalados na Região Sudeste do Brasil. Foram estimados os valores típicos de energia elétrica gerada mensalmente e os respectivos custos de instalação final (incluindo-se infraestrutura e equipamentos complementares), resumidos na Tabela 3. Ressalta-se que todos os custos são relativos a instalações no continente, sendo assim, sem dificuldades quanto ao acesso.

Tabela 3 - Valores típicos de geração de energia por FAE para a Região Sudeste.

Sistema Fotovoltaico		Aerogerador Vertical (1 kW)		Aerogerador Horizontal (6 kW)	
1 kWp	Área demandada: 5 m ²	6 m/s	12 m/s	6 m/s	12 m/s
Faixa de geração (kWh/mês)	80 - 120	80 - 120	240 - 360	530 - 790	1650 - 2480
Energia Média (kWh/mês)	100	100	300	660	2065
Custo médio de instalação (R\$/kW)	14.000 - 18.000	20.000 - 30.000		16.000 - 24.000	

Fonte: AROUCA, 2013.

Em relação aos aerogeradores utilizados por AROUCA (2013), destaca-se que:

- os custos médios de instalação, por unidade de potência, relativos aos aerogeradores horizontais, são 20% inferiores aos custos médios dos aerogeradores verticais;
- a faixa de geração de energia, para velocidades de vento de até 6 m/s, é 10% superior nos aerogeradores horizontais se comparados aos aerogeradores verticais;
- a faixa de geração de energia, para velocidades de vento superiores a 12 m/s, é 15% superior nos aerogeradores horizontais se comparados aos aerogeradores verticais (Figura 12).

A partir da energia mensal estimada demandada pelo sítio, calcula-se a necessidade equivalente entre módulos fotovoltaicos (com respectivas áreas necessárias para captação), número de aerogeradores verticais (1kW) e número de aerogeradores horizontais (6kW), para suprir as respectivas demandas médias de cada sítio (Tabela 4).

Tabela 4 - Equivalência entre equipamentos para geração de energia por FAE.

Sítio	Energia consumida mensal (kWh)	Sistema Fotovoltaico	Aerogerador Vertical		Aerogerador Horizontal	
		1 kWp	6 m/s	12 m/s	6 m/s	12 m/s
		5 m ²	Unidades		Unidades	
Cabo Frio	1.256,04	12,56 kWp 62,80 m ²	12,56 (13)	4,19 (5)	1,90 (2)	0,61 (1)

Com os dados informados nas Tabelas 3 e 4, estima-se o custo médio de instalação para cada configuração de equipamentos equivalentes contidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Investimento estimado entre equipamentos equivalentes.

Sítio	Sistema Fotovoltaico	Aerogerador Vertical		Aerogerador Horizontal	
	R\$	6 m/s	12 m/s	6 m/s	12 m/s
Cabo Frio	208.000,00	325.000,00	125.000,00	240.000,00	120.000,00

(3) - Modelo RAZEC 266, do fabricante ENERSUD; e

(4) - Modelo VERNE 55, do fabricante ENERSUD.

Revista OBRAS CIVIS



Figura 12 - Aerogerador vertical modelo "Razec 266", à esquerda e aerogerador horizontal modelo "Gerar 246", à direita. Fonte: ENERSUD, 2014.

Tomando-se os dados coletados durante a visita técnica, obtém-se o custo da energia para o sítio avaliado, a partir da energia consumida projetada para um ano e dos custos anuais vinculados ao uso final do combustível fóssil para geração de energia (Tabela 6):

Tabela 6 - Custos médios anuais da energia para o sítio.

Sítio	Cabo Frio
Energia Consumida (MWh/ano)	15,28
Custo anual do diesel (R\$)	311.499,76
Custo final da energia (R\$/kWh)	20,38

Finalmente, projetam-se três cenários de geração de energia por diesel e complementação energética por FAE, a partir de análises de investimentos simples utilizando-se os dados das Tabelas 5 e 6:

- Cenário 1: 75% da energia gerada por diesel, com complementação solar-eólico (25%);
- Cenário 2: 50% da energia gerada por diesel com complementação solar-eólico (50%); e
- Cenário 3: 25% da energia gerada por diesel com complementação solar-eólico (75%).

A Tabela 7 resume os dados relativos aos retornos de investimentos simples para cada cenário proposto e aplicado ao sítio selecionado. Ressalta-se que foram utilizados na simulação dados para aerogeradores horizontais e verticais com velocidade do vento de 6 m/s e de 12 m/s, para cobrir as faixas de maior probabilidade de ocorrência de vento existentes nos sítios.

Tabela 7 – Retorno do investimento para cenários relativos à entrada de FAE na geração de energia para o Farol de Cabo Frio.

CABO FRIO	CENÁRIO 1	DIESEL 75%			
		SOLAR (25%) VERTICAL 6 (31%)	SOLAR (25%) VERTICAL 12 (40%)	SOLAR (25%) HORIZONTAL 6 (50%)	SOLAR (25%) HORIZONTAL 12 (100%)
	RETORNO DO INVESTIMENTO (ANO)	3	2	3	3
	LUCRO PRESENTE	R\$ 57.588,97	R\$ 43.113,94	R\$ 34.588,97	R\$ 34.588,97
	CENÁRIO 2	DIESEL 50%			
		SOLAR (50%) VERTICAL 6 (54%)	SOLAR (50%) VERTICAL 12 (60%)	SOLAR (50%) HORIZONTAL 6 (50%)	SOLAR (50%) HORIZONTAL 12 (100%)
	RETORNO DO INVESTIMENTO (ANO)	2	2	2	2
	LUCRO PRESENTE	R\$ 3.727,88	R\$ 113.727,88	R\$ 64.227,88	R\$ 64.227,88
	CENÁRIO 3	DIESEL 25%			
		SOLAR (75%) VERTICAL 6 (85%)	SOLAR (75%) VERTICAL 12 (80%)	SOLAR (75%) HORIZONTAL 6	SOLAR (75%) HORIZONTAL 12 (100%)
	RETORNO DO INVESTIMENTO (ANO)	2	2	2	2
	LUCRO PRESENTE	R\$ 19.341,83	R\$ 184.341,83	R\$ 30.341,83	R\$ 162.341,83

Algumas limitações foram consideradas para composição da Tabela 7, elencadas a seguir:

- a dificuldade de acesso aos sítios para instalação dos sistemas e manutenção periódica não foi valorada, fato que poderá ser minimizado através do treinamento do pessoal militar residente para efetuar a manutenção e uso de meios navais disponíveis nos locais para realizar a logística de transporte;
- os custos relativos aos sistemas integradores para controle da entrada e saída das fontes de energia não foram incluídos, devido à diversidade de arquiteturas previstas em literatura, necessitando-se de estudo detalhado e específico para cada sítio (MARTINS, 2007); e
- os bancos de baterias para otimização do uso dos geradores a diesel, evitando-se partidas desnecessárias para atender picos de demanda, não foram incluídos nos sistemas híbridos propostos, necessitando-se dimensioná-los de acordo com cada cenário proposto no estudo.

4. CONCLUSÃO

A inserção de FAE para geração de energia elétrica no sítio estudado incorpora benefícios que vão além dos aspectos econômicos relacionados à necessidade logística e de uso do diesel. Há uma elevação na qualidade de vida dos militares residentes, fornecendo-lhes maior segurança e disponibilidade no fornecimento de energia elétrica para o uso em atividades profissionais e lúdicas, partindo-se da diversificação das fontes energéticas. Além disso, cria-se uma oportunidade de implementação de pesquisas específicas correlatas às atividades do IEAPM e ainda torna-se possível a qualificação dos militares residentes para a instalação e manutenção dos sistemas híbridos propostos, fundamental para a viabilidade e durabilidade dos mesmos. Sob o aspecto ecológico, verifica-se também a redução da pegada ecológica do sítio relativa à diminuição ou até anulação dos agentes poluidores locais gerados pela queima do combustível fóssil.

Não obstante a existência de áreas passíveis de instalação dos sistemas híbridos propostos para a ilha avaliada, identificam-se cenários favoráveis à aplicação de FAE para o Farol de Cabo Frio, com período entre 2 e 3 anos para retorno do investimento inicial aplicado para todas as topologias sugeridas.

Ressalta-se ainda que a conservação de energia, a partir da implementação de ações de eficiência energética no sítio estudado, poderá ser usada para reduzir a distância entre a curva de oferta de energia por fontes alternativas e a curva de demanda dos sítios avaliados, principalmente em altos consumos de curta duração identificados pelo uso de chuveiros elétricos. Sistemas compactos de aquecimento solar a partir de coletores planos são usados para complementação térmica ou substituição direta de chuveiros elétricos, com diversas referências atuantes no mercado nacional (SOLETROL, 2013). Outras ações com possíveis impactos positivos são relacionadas aos sistemas de iluminação (substituição de lâmpadas incandescentes por unidades mais eficientes) e bombeamento (substituição de motores elétricos por unidades mais eficientes).

O vetor energético de ondas não foi avaliado financeiramente por falta de referências locais próximas aos sítios estudados, necessitando-se de aplicações pilotos para verificação dos verdadeiros custos em escala comercial. Porém, observa-se que o mesmo disponibiliza a maior densidade de energia entre todos os vetores envolvidos no estudo, fato

constatado através dos valores contidos na Tabela 2. A proximidade do sítio de Cabo Frio ao continente potencializa a instalação de usinas de energia de ondas, possibilitando a alimentação elétrica local e geração de excedentes, conforme Resolução 482 da ANEEL (2012), para as áreas de Arraial do Cabo (conexão com o continente através da rede elétrica existente na área de acesso à Praia do Pontal do Atalaia) reduzindo-se o investimento em redes de transmissão e distribuição para a energia gerada.

Por fim, procura-se a diversificação das fontes e o uso racional de energia para a redução da vulnerabilidade energética, não somente nos sistemas de energia avaliados, mas no âmbito global da MB, como parte fundamental do processo de mudança das atuais organizações militares, tornando-as ao final do processo “Organizações Militares Sustentáveis”.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL, 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012”. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em setembro de 2013.
- AROUCA, M. C. *A Micro e Minigeração Distribuída no Brasil de Hoje*. In: Mesa Redonda – A Micro e Minigeração Distribuída no Brasil de Hoje. FIRJAN – RJ, outubro de 2013.
- BAĞCI, B. “Towards a Zero Energy Island.” *Elsevier: Renewable Energy*, v. 34, p. 784-789, 2008. DOI:10.1016/j.renene.2008.04.027.
- DANTAS, N. *A História da Sinalização Náutica Brasileira e breves memórias*. 1 Ed, Rio de Janeiro, FEMAR - Fundação de Estudos do Mar, 2000.
- ENERSUD, 2014. *ENERSUD - Produtos*. Disponível em <<http://www.enersud.com.br>>. Acesso em outubro de 2014.
- NEMA, P.; NEMA, R. K.; RANGNEKAR, S. “A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review”. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, p. 2096-2103, 2008. DOI:10.1016/j.rser.2008.10.006.
- PONTES SILVA, D. G. *Potencial de geração de energia por fontes renováveis para estações estratégicas e isoladas de sinalização náutica da Marinha do Brasil*. Dissertação de Mestrado - Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- SOLETROL, 2013. *Soletrol Aquecedores de Água - Produto SolarMax*. Disponível em <<http://www.soletrol.com.br/produtos/compactos/solarmax.php>>. Acesso em novembro de 2013.
- TEIXEIRA, M. D., ARAÚJO, R. L., ARDJOMAND, L. M., AOKI, A. R., QUOIRIN, N. S. R., PENICHE, R. A., WUNDERLICH, I. *Avaliação dos Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Prevenir Danos em Eletrodomésticos*. In: VI SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, 21 a 24 de agosto de 2005, Belém/PA. Disponível em <http://www.sbqee.com.br/cbqee_2005_pdfs/7511.pdf>. Acesso em março de 2014.
- US Navy, 2010. *United States Department of the Navy - “Energy Program for Security and Independence”*, Out 2010. Disponível em <http://greenfleet.dodlive.mil/files/2010/04/Naval_Energy_Strategic_Roadmap_100710.pdf>. Acesso em setembro de 2013.
- YAMEGUEU, D. AZOUMAH, Y. PY, X. ZONGO, N. “Experimental study of electricity generation by Solar PV/diesel hybrid systems without battery storage for off-grid areas”. *Elsevier: Renewable Energy*, v. 36, p. 1780-1787, 2011. DOI: 10.1016/j.renene.2010.11.011.